

LES ÉPANDAGES DÉTRITIQUES CONTINENTAUX DU MIOCÈNE SUPÉRIEUR ET DU PLIOCÈNE PRÉSUMÉS DE LA BORDURE MÉRIDIIONALE DES MONTS DES NEMENTCHA (ATLAS SAHARIEN ORIENTAL). CARACTÉRISTIQUES SÉDIMENTOLOGIQUES ET IMPLICATIONS ENVIRONNEMENTALES

Samia MAZROU¹ et Yacine LASNAMI²

RÉSUMÉ

Les dépôts détritiques du Néogène de la bordure méridionale des Monts des Nementcha (Atlas saharien oriental) reposent en discordance sur les sédiments phosphatés d'âge paléogène.

Très peu ou pas étudiés du point de vue sédimentologique, la distinction entre les différentes formations miocènes et pliocènes, était jusque-là méconnue, aussi bien dans la région d'étude que dans le Sud-ouest tunisien, où ces formations affleurent également. Des levés de terrain, suivis d'une approche sédimentologique des dépôts ont permis de distinguer deux formations détritiques d'extension régionale, mises en place sous climat globalement chaud et aride : la «Formation fluvio-lagunaire à hélicidés de M'dila» qui se caractérise par des silts argileux brunâtres à *Helix tissoti*, déposés dans des lagunes ouvertes et la «Formation conglomératique de Mermoutia» qui se caractérise par une sédimentation grossière à flots de débris. L'attribution stratigraphique de ces deux formations, respectivement au Miocène supérieur et au Pliocène, est déduite de leur position stratigraphique, au-dessus des sables à restes de vertébrés du Miocène moyen, et en dessous des sables conglomératiques du Quaternaire.

Mots-clés - Sédimentologie - Fluvio-lagunaire - Cône alluvial - Miocène supérieur - Pliocène - Nementcha - Atlas saharien oriental - Algérie.

¹Université d'Alger 1, Youcef Ben Khedda, Faculté des Sciences, Département SNV, Alger, Algérie.
E-mail: mazrousamia@yahoo.fr

²Auteur libre. E-mail: lasnami.yacine@gmail.com

THE MIO-PLIOCENE CONTINENTAL SILICICLASTIC DEPOSITS OF THE SOUTHERN EDGE OF THE NEMENTCHA MOUNTAINS (EASTERN SAHARAN ATLAS). SEDIMENTOLOGICAL CHARACTERISTICS AND PALEOENVIRONMENTAL IMPLICATIONS

ABSTRACT

The Neogene siliciclastic deposits of the southern edge of the Nementcha Mounts, lie in discordance on the Paleogene phosphate formations.

With little to no sedimentological studies, whether in the studied region or in the Tunisian southwest where these formations also outcrop, the distinction between the different Miocene and Pliocene geological strata remains poorly understood. Field studies, followed by a sedimentological approach to these continental deposits allowed to distinguish two sandy-clay and conglomerate formations of brownish color, deposited in a hot and arid climate. The first formation called "fluvio-lagunal with helicids of M'dila", is characterized by brownish clay silts with *Helix tissoti*, deposited within an open lagoon margin. The second formation, called the "conglomerate of alluvial fan-type of Mermoutia", is characterized by a debris flow-type sedimentation, the primary origin of which is the activity of alluvial fans. These formations could be attributed to the upper Miocene and Pliocene ages, thanks to their stratigraphic position, above the sands with vertebrate remains of middle Miocene period, and below the conglomeratic sands of the Quaternary.

Keywords - Sedimentology - Fluvio-lagoonal - Alluvial fan - Upper Miocene - Pliocene - Nementcha - Eastern Saharan Atlas - Algeria.

I- INTRODUCTION

La présente étude consiste en l'analyse sédimentologique des formations détritiques qui affleurent dans la partie méridionale des Monts des Nementcha. La région des Nementcha se situe au sud des Aurès (fig.1), et fait partie du tronçon le plus oriental de l'Atlas saharien algérien. Elle est comprise entre les parallèles 34°44' et 34°49'N, et les méridiens 8°04' et 6°44'E. Les levés de terrain ont été effectués dans les environs des localités suivantes : Bir El Aater, Ferkane, Negrine, M'dila, Mermoutia, et Khenguet Sidi Nadji.

Les Monts des Nementcha, appelés aussi Plateau des Nementcha par certains auteurs (e.g. Laffite, 1939), sont essentiellement constitués de formations marines marno-calcaires et de faciès marno-gypsifères lagunaires d'âge paléogène

(Laffite, 1939). Ces dépôts qui occupent tout le nord et le centre des Nementcha sont bordés au sud par des sables continentaux d'âge mio-plio-quatenaire (fig. 2).

Au niveau de Djebel Onk, près de la région de Bir El Aater (voir fig.1), les formations néogènes dont l'épaisseur avoisine les 800 m (Visse, 1952) reposent en discordance angulaire sur les formations éocènes à phosphate. De même, au sud de la région de Negrine, on peut voir les premiers dépôts néogènes reposant en discordance sur les dernières assises de l'Éocène marin composées de couches à phosphates d'âge thanétien, de marnes gypsifères ainsi que de dépôts de gypse d'âge lutétien supérieur (fig. 3).

Cependant, malgré les bons affleurements inhérents à cette région, la série sédimentaire

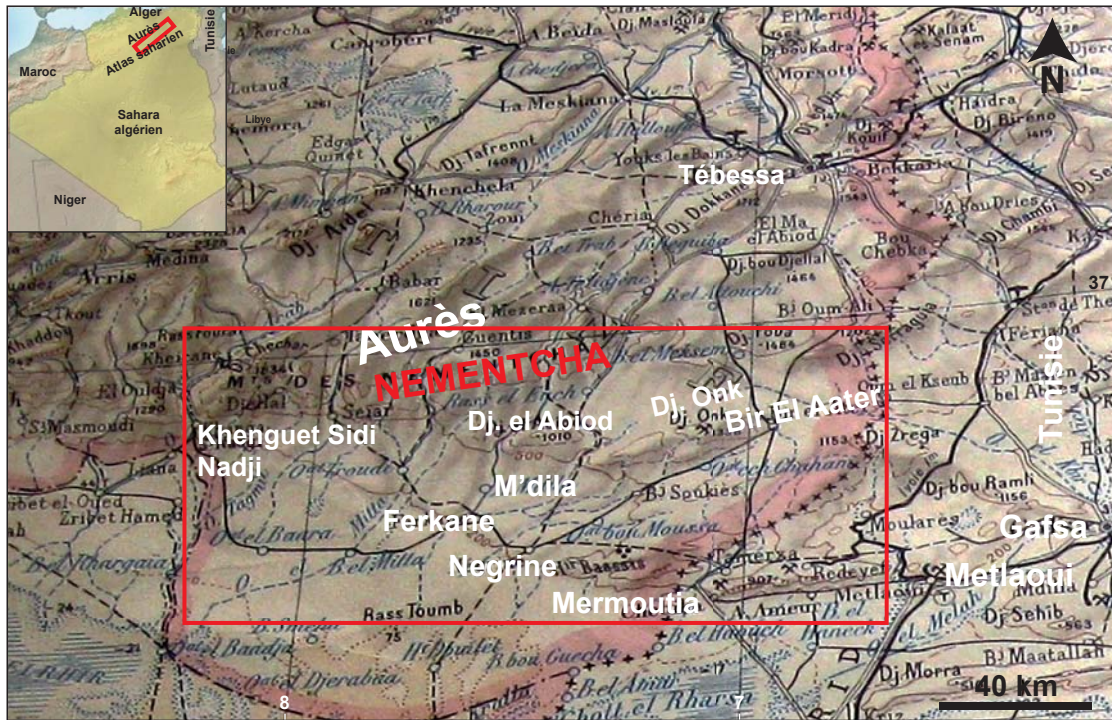


Fig. 1- Situation de la zone d'étude (cadre rouge) et des localités citées dans le texte.

Location of the study area (red rectangle) and localities mentioned in the text.

Coordonnées géographiques des localités où se sont effectués les levés de terrain:

Bir el Ater: 34°48'25"N et 7°58'11"E ;

Negrine: 34°32'25"N et 7°27'24"E ;

Ferkane : 34°33'05"N et 7°23'58"E ;

Khenguët Sidi Nadji : 34°33'05"N et 6°46'46"E.

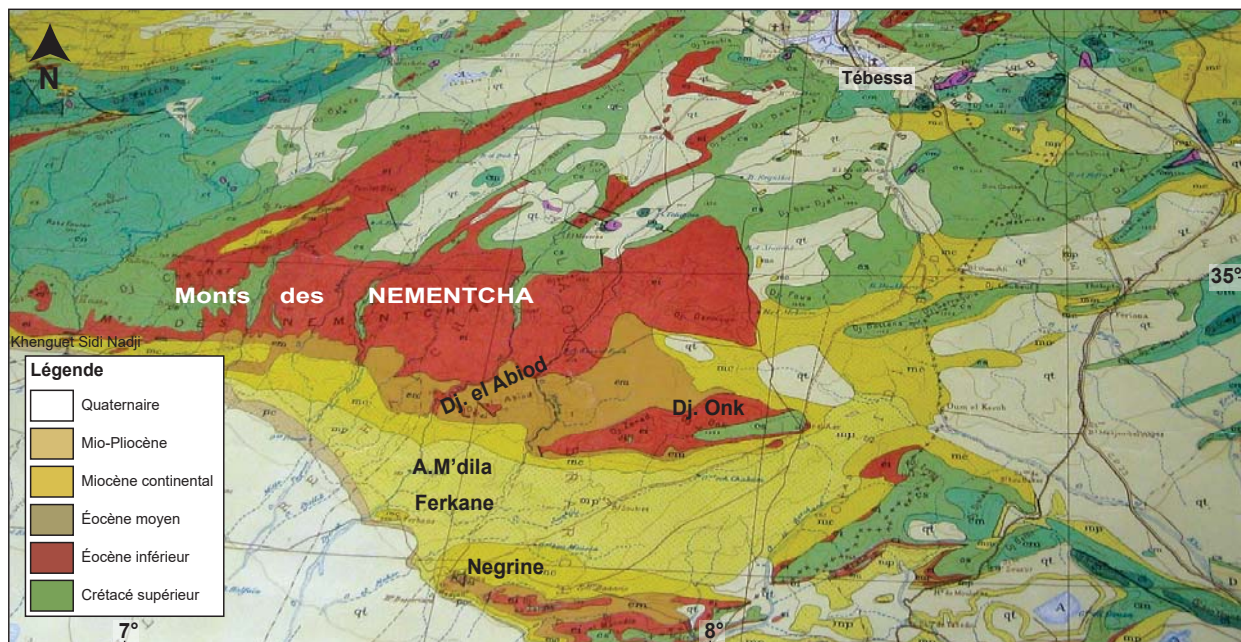


Fig. 2- Carte géologique de la région d'étude (extrait de la carte du SE constantinois, échelle: 1/500 000) (Gousskov et Laffitte, 1951).

Geological map of the study area (excerpt from the SE constantinian map, scale: 1/500 000) (Gousskov and Laffitte, 1951).

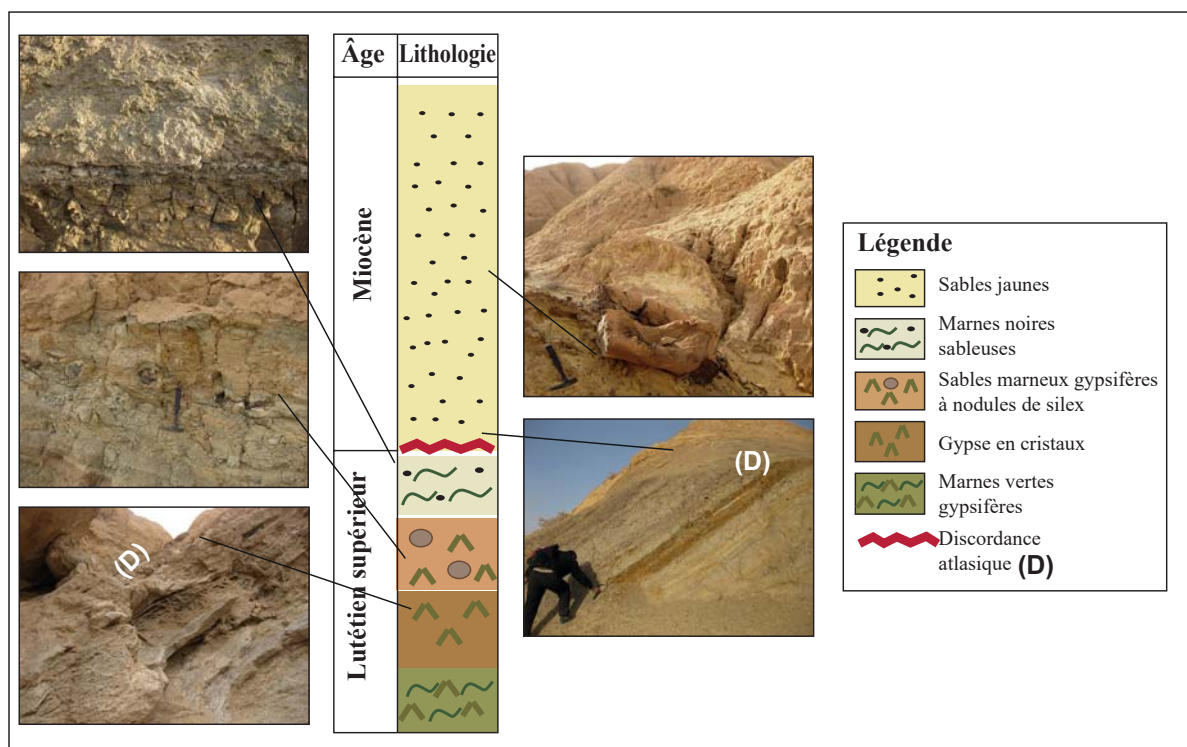


Fig. 3- Log lithostratigraphique montrant la discordance angulaire entre les sables miocènes et les dépôts lagunaires fini-éocènes affleurant au sud de Negrine (échelle des couches non respectée).

Lithostratigraphic log showing angular unconformity between Miocene sandstones and upper Eocene lagoonal deposits outcropping south of Negrine (stratum scale not respected).

néogène de l'Atlas saharien oriental de façon générale, et celle des Monts des Nementcha en particulier, demeurent très peu étudiées du fait de l'absence de marqueurs biostratigraphiques rendant difficile la distinction entre les différentes formations continentales. En revanche, cette série est mieux connue au sud des Aurès, dans la région de Branis, où Laffite (1939) distingue des formations continentales attribuées au Miocène supérieur et au Pliocène. Cette attribution résulte de leur position entre les assises marines du Langhien-Serravallien et les dépôts du Quaternaire (fig. 4).

Ces formations continentales sont représentées par des affleurements d'argiles rouges à rares bancs gréseux à *Helix tissoti* auxquelles succèdent des grès à rares niveaux de graviers d'âge miocène supérieur. Ces derniers sont surmontés par des poudingues mal cimentés bruns et rouges, attribués au Pliocène.

Dans le Sud-ouest tunisien, la série du Mio-Pliocène est représentée par la «Formation argilo-silteuse de Kef Ettir» et la «Formation sablo-argileuse et conglomératique de Segui» (Burrolet, 1956 ; Biely *et al.*, 1972 ; Mannai-Tayech, 2009). Elles surmontent en concordance les sables à vertébrés de Béglia et séparées des sables conglomératiques du Quaternaire par une discordance angulaire. Dans la région d'étude, les formations détritiques de la présente étude reposent en concordance sur la «Formation des sables jaunes à vertébrés d'El Aater», attribuée au Langhien-Tortonien basal (Coiffait *et al.*, 1984; Tabucé *et al.*, 2000; Mazrou, 2016), tandis que les dépôts sablo-conglomératiques du Quaternaire se déposent en discordance sur le reste de la série.

L'objet du présent travail consiste en une étude lithostratigraphique, sédimentologique et

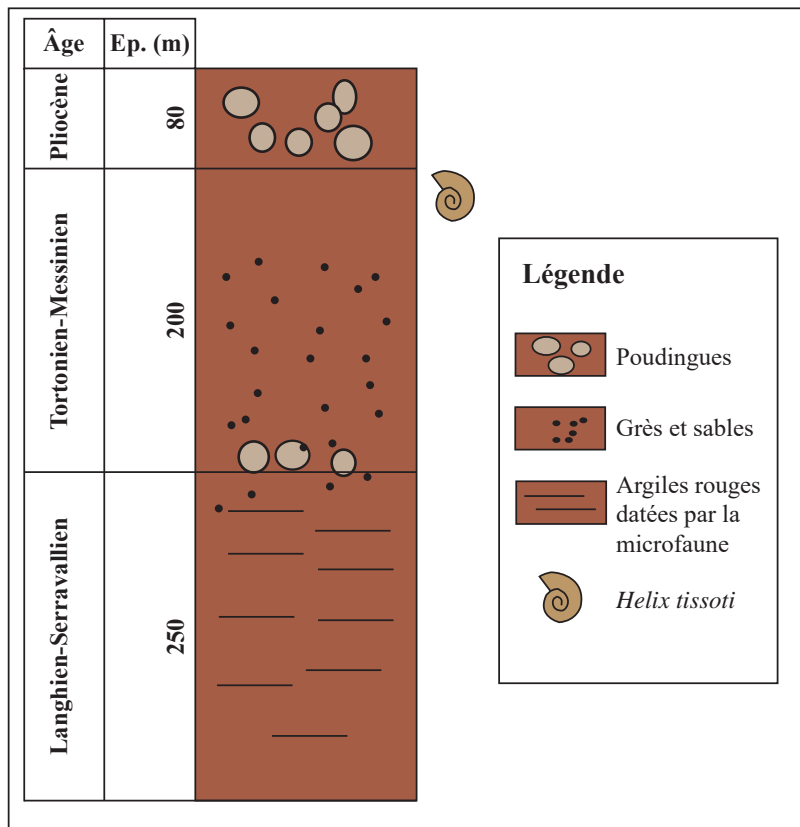


Fig. 4- Log lithostratigraphique synthétique des dépôts néogènes continentaux de Branis (d'après les descriptions de Laffitte, 1939).

Synthetic lithostratigraphic log of the Neogene continental deposits of Branis (after laffitte's descriptions, 1939).

paléoenvironnementale de la série du Miocène supérieur-Pliocène du sud des Nementcha.

II- MÉTHODOLOGIE

L'analyse sédimentologique adoptée dans ce travail est celle élaborée par de nombreux auteurs anglo-saxons pour étudier les dépôts continentaux (Cant et walker, 1976; Miall, 1978 ; Ashley, 1990). Cette méthodologie standard qui est utilisée à l'échelle internationale (ex. Walker et James 1992 ; Miall, 1990, 1996 ; Reading, 2001) consiste, dans un premier temps, en la reconnaissance sur le terrain des différentes formations en tenant compte des critères faciologiques, tels que la nature lithologique (lithofaciès) et le contenu fossilifère, ainsi que l'importance des extensions géographiques de ces formations. Dans un second temps, on fait un découpage de

chaque formation en différentes unités sédimentaires qui seront analysées en détail.

Cette analyse s'appuie sur la description des lithofaciès (lithologie, structures sédimentaires et biofaciès) et leur mode d'association. Ces associations de faciès sont, enfin, interprétées en termes d'environnements de dépôt (Miall, 1977, 1996).

III- ÉTUDE LITHOSTRATIGRAPHIQUE ET SÉDIMENTOLOGIQUE

L'étude des terrains continentaux néogènes a permis de distinguer une série sédimentaire montrant des dépôts silto-argileux et conglomératiques. Celle-ci repose en concordance sur la «Formation sableuse à vertébrés d'El Aater» (Mazrou, 2016, 2021) attribuée au Langhien-Serravallien ou au Langhien-Tor-

tonien (Burrolet, 1956 ; Biely *et al.*, 1972; Ducrocq *et al.*, 2001 ; Mannai-Tayeck, 2009; Lihoreau *et al.*, 2014; Mazrou, 2021) et coiffée en discordance par les dépôts sablo-conglomératiques d'âge quaternaire.

Cette série continentale (fig.5), dont l'épaisseur est de 1500 m en moyenne, comprend deux formations d'extension régionale représentées par la «Formation silto-argileuse à hélicidés de M'dila» à la base, à laquelle succède la «Formation conglomératique de Mermoutia».

- La «Formation argilo-silteuse rougeâtre à hélicidés de M'dila» avoisine les 40 m d'épais-

seur (fig. 5B, C). Elle est attribuée au Tortonien-Messinien par parallélisme ou comparaison avec la «Formation sablo-argileuse à hélicidés de Branis» (sud des Aurès), qui repose sur des dépôts marins datés du Langhien-Serravallien (Laffitte, 1939).

- La «Formation conglomératique de Mermoutia» (fig. 5C, D) correspond à une puissante alternance de barres gréseuses à sables grossiers et de conglomérats, avoisinant les 1500 m d'épaisseur. Celle-ci, dont les couches sont redressées par les mouvements compressifs intervenant au passage Pliocène/Quaternaire,affleure aussi bien dans l'Aurès-Nementcha (Laf-

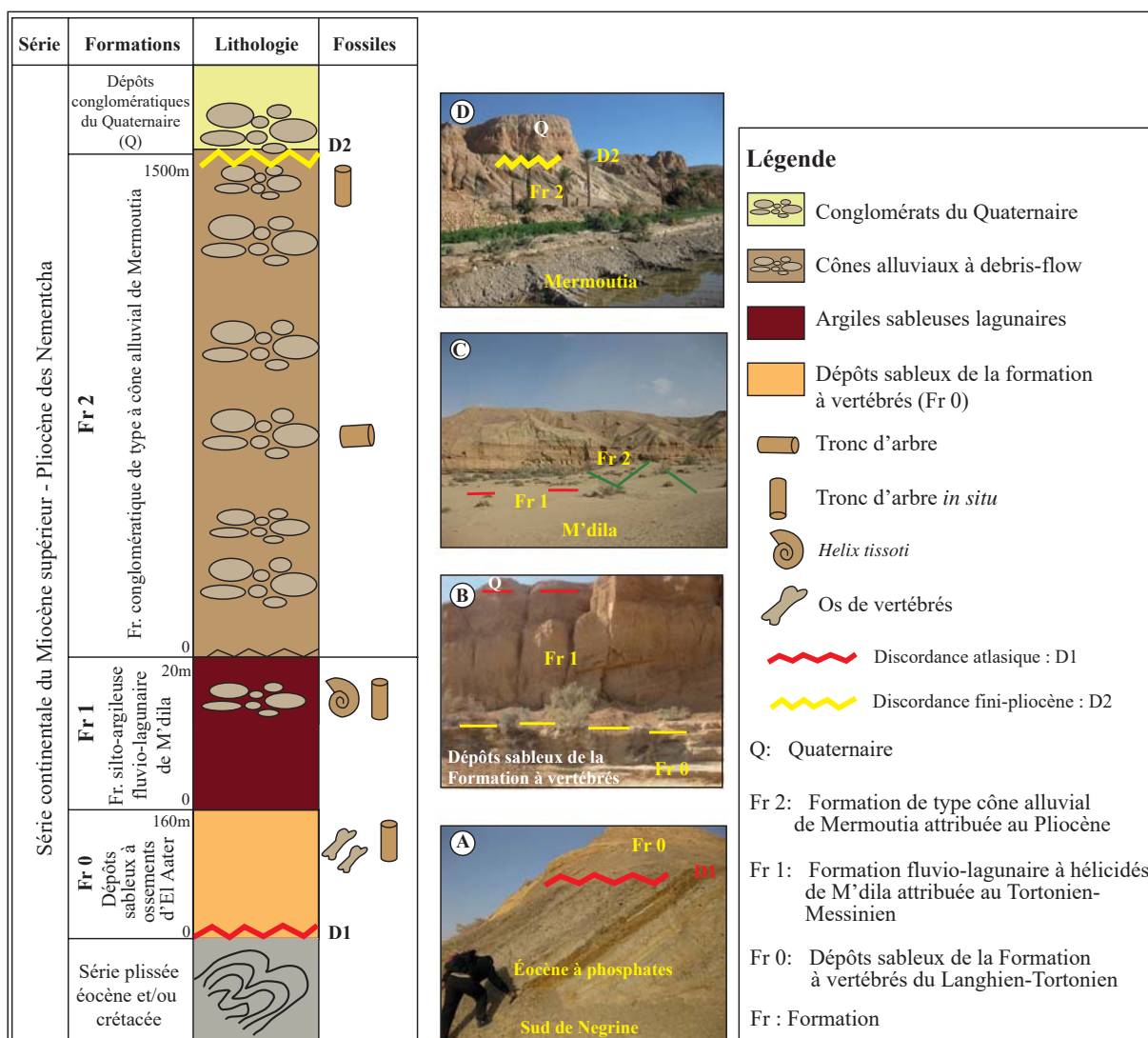


Fig. 5- Log lithostratigraphique synthétique de la série continentale du Miocène supérieur-Pliocène de la bordure méridionale des Monts des Nementcha.

Synthetic lithostratigraphic log of the upper Miocene-Pliocene continental series of the southern edge of the Nementcha Mountains.

fitte, 1939 ; Aissaoui, 1986 ; Guiraud, 1990), qu'en Tunisie (Mannai-Tayeck, 2009). Cette formation est, par ailleurs, coiffée en discordance angulaire par les dépôts du Quaternaire, dont l'épaisseur avoisine 60 m. Ces derniers sont aisément reconnaissables par leurs faciès sablo-conglomératiques jaunâtres non cohésifs qui coiffent en discordance les formations sous-jacentes (fig. 5D). L'âge pliocène qui lui a été attribué est déduit de sa position au-dessus de la formation à hélicidés et en dessous des dépôts du Quaternaire. Ce même âge est attribué, par ailleurs, à l'équivalent de cette formation dans la région de Branis par Laffitte (1939).

III.1- La Formation silto-argileuse à hélicidés de M'dila

La formation silto-argileuse à hélicidés de M'dila (fig. 6) est épaisse d'environ 40 m en affleurement. Elle surmonte en concordance les dépôts sableux à vertébrés, bien visibles dans les environs de Negrine (voir fig. 5B), mais aussi dans la région de M'dila où elle a été décrite en entier (fig.7).

Cette formation regroupe quatre (04) associations de faciès (de AF1 à AF4) et huit (08) lithofaciès (tabl. I).

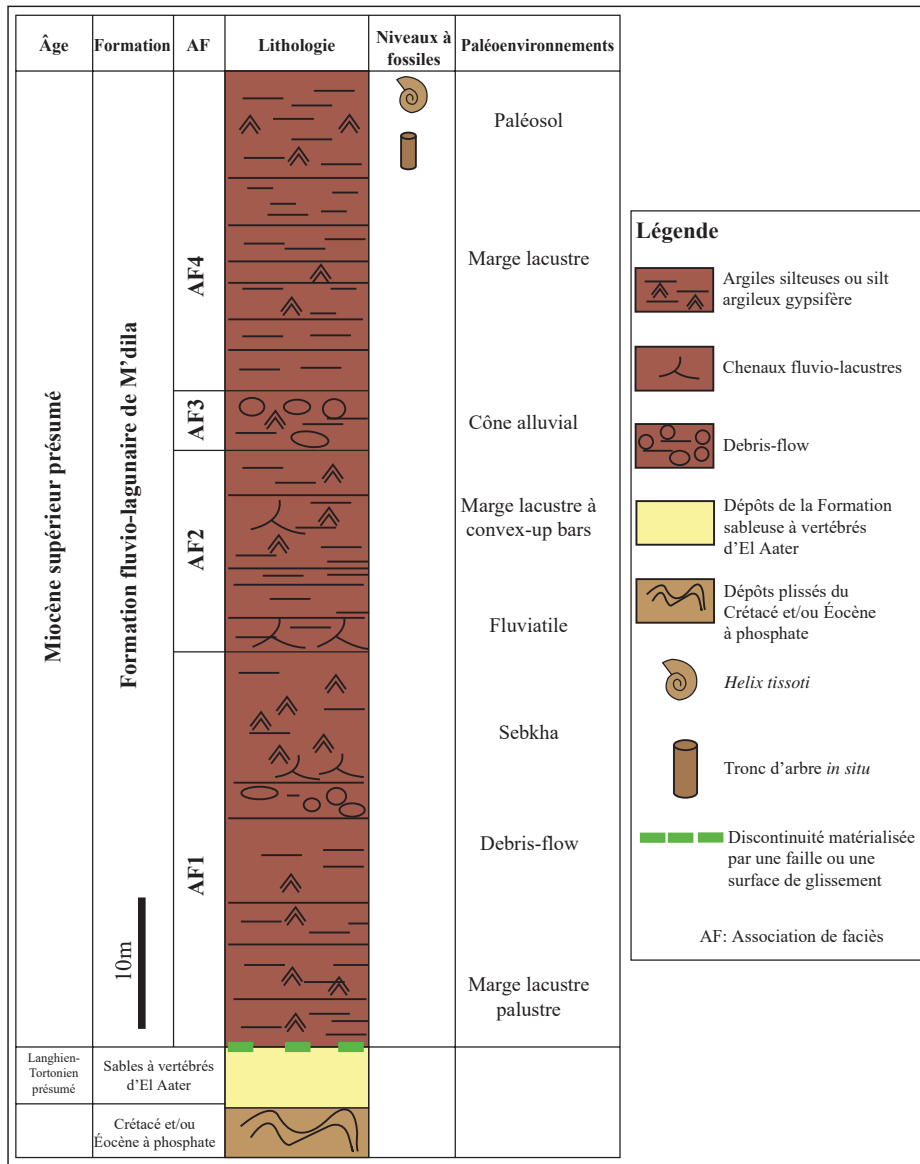


Fig. 6- Log lithostratigraphique de la formation fluviolagoonaire à hélicidés de M'dila.
Lithostratigraphic log of the helicids fluviolagoonal Formation of M'dila.

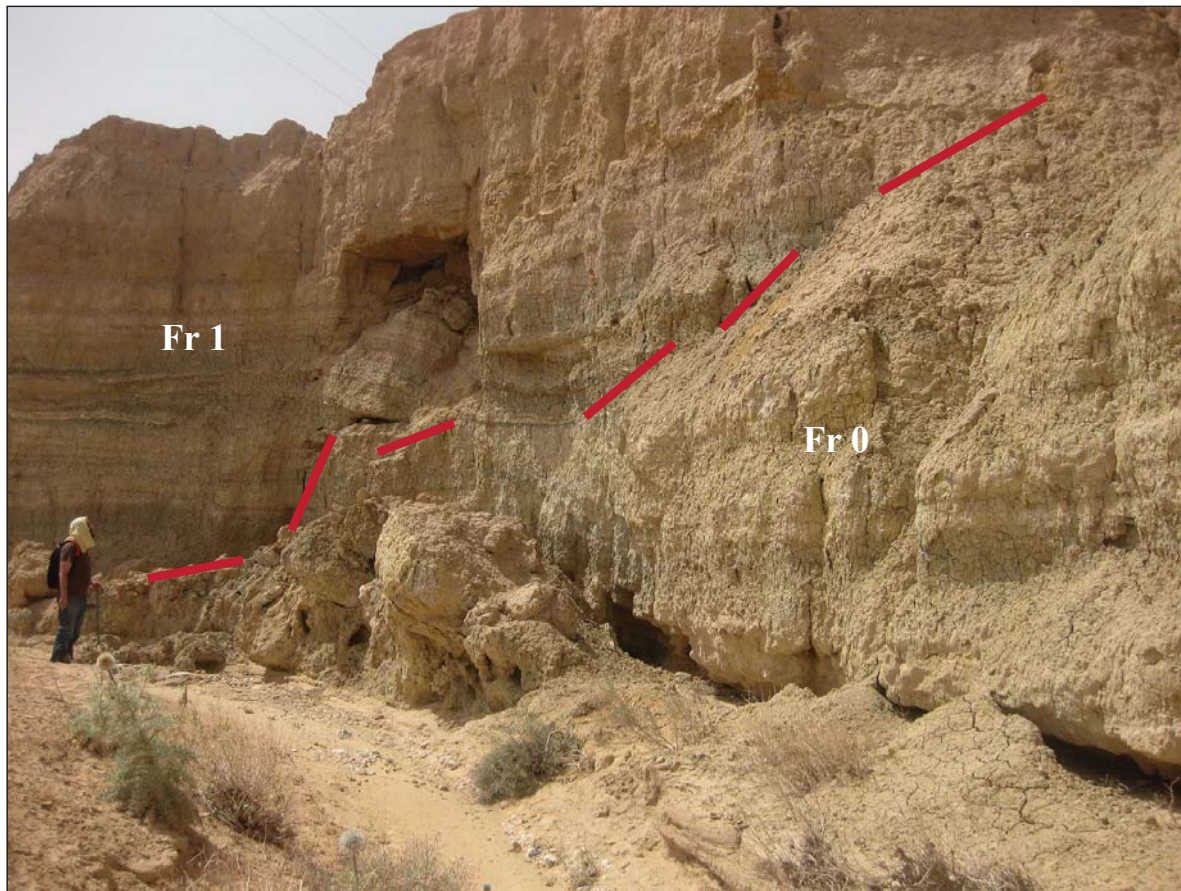


Fig. 7- Affleurement montrant le contact entre la Formation fluvio-lagunaire de M'dila (Fr 1) et les dépôts sableux à vertébrés d'El Aater (Fr 0) (les traits rouges seraient soit une faille ou une surface de glissement).

Outcrop of the contact between the fluvio-lagoonal Formation of M'dila (Fr 1) and the sandy deposits with vertebrate bones (Fr0) (red lines indicate a fault or sliding surface).

Tableau I- Formation fluvio-lagunaire à hélicidés de M'dila: récapitulatif des lithofaciès et de leur interprétation en termes de milieu de dépôt.

Helicids fluvio-lagoonal Formation of M'dila: summary of the lithofacies and their interpretation in terms of the depositional environment.

Faciès	Description	Fossiles	Interprétation
F1 : Silto-argileux (argilo-silteux) à litage horizontal	Niveaux argileux (10 cm - 1 m) à fin litage horizontal	<i>Skolithos</i> , Traces de rhizome	Argiles de décantation en milieu lacustre (Miall, 1996; Einsele, 2000; Nichols, 2009; Alçiçek et Gonzalo, 2013).
F2 : Silto-argileux sans litage	Dalles silto-argileuses variant entre 15 cm - 2 m d'épaisseur, sans litage, alternant avec des niveaux à litage horizontal	Hélicidés	Dépôt lacustre sans litage, indiquant l'existence d'un léger brassage saisonnier.
F3: Silto-argileux gypsifère	Niveaux argileux (10 cm - 1m) à fin litage horizontal et à gypse saccharoïde et en petits cristaux en forme de rosettes	<i>Skolithos</i> , Traces de rhyzolithes	Argiles de décantation en milieu lacustre. La mise en place s'effectue sous climat chaud et semi-aride, générant du gypse, en milieu de type Sebkhha (Vatan, 1967; Meyer, 1987).

F4 : Silto-argileux à dessiccation	Niveaux argileux à dessiccation	<i>Skolithos</i>	La décantation puis l'exondation des argiles lacustres, puis leur assèchement total ou partiel sous un climat chaud induisent des dessiccations (Meyer, 1987).
F5 : Silto-argileux à encroûtements carbonatés	Silto-argileux à encroûtements carbonatés de couleur beige qui s'intercalent dans les premiers dépôts de la formation	<i>Skolithos</i> , Traces de rhyzolithes	Formation de paléosol de type caliche sous climat chaud (Esteban et Klappa, 1983; Meyer, 1987).
F6 : Silto et sablo-argileux à stratifications obliques à angles faibles	Succession de bancs silto-argileux et sables grossiers (sur 5 m d'épaisseur) à stratifications obliques à faibles angles		Petits chenaux en tresses dont le transport s'effectue à bas débit (Miall, 1996 ; Hadlari et Rainbird, 2000).
F7 : Silto-argileux à rides de courant	Silto-argileux à rides de courant pouvant s'accompagner de F6 et de F1		Dépôts lacustres légèrement agités par le vent et/ou amenuisement d'un transport fluvial.
F8 : Conglomérats massifs	Coulées de débris à matrice argileuse déposées près des rivages lacustres	Petits troncs d'arbres, <i>Skolithos</i>	Dépôts à transport gravitaire constituant des fan-deltas en bordures des lacs (Hook, 1977; Miall, 1977, 1996).

III.1.1- Association de faciès (AF1) : Marge laguno-palustre et sebkha

Description

AF1, qui regroupe les lithofaciès F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7 et F8, est représentée par 2 m en moyenne d'une alternance de niveaux argileux et argilo-silteux ou silto-argileux, riches en cristaux de gypse (fig. 8). Les premiers niveaux argilo-silteux dont l'épaisseur varie entre 0,10 et 1 m sont de couleur rougeâtre et présentent un litage horizontal (F1). Ils se caractérisent par leur extrême dureté et par la présence de gypse sous ses formes saccharoïdes (voir fig. 8 A) et en petites rosettes cristallines (F3). Ces dépôts fins qui forment un relief négatif en affleurement (fig. 8 A, B) montrent également des traces de dessiccation (F4) et de très nombreuses bioturbations. Celles-ci existent sous deux formes distinctes : une forme ovoïde, montrant un diamètre variant de 1 à 5 cm (fig. 8 B) (ces bioturbations apparaissent regroupées en nombre de 2 ou 3), et des bioturbations en forme de galeries rectilignes, dont la longueur peut varier entre 2-6 cm. Ils s'y intercalent également des encroûtements carbonatés (F5) en horizons discontinus de couleur beige (voir fig. 8 B).

Ces sédiments fins sont tronqués par une cicatrice d'érosion convexe d'environ 0,30 m de profondeur, au-dessus de laquelle se sont accumulés des silts argileux sans litage (F2).

À ces dépôts en relief négatif, succèdent des dalles silto-argileuses, dont l'épaisseur varie de 0,15 à 0,20 cm. Elles se caractérisent par la présence de fines laminations horizontales (F1) et de cristaux de gypse (F3) ainsi que des bioturbations de forme alvéolaire ou en forme de galeries (0,002 - 0,015 m de long) (voir fig. 7 B). On note également dans ces premières dalles la présence d'encroûtements carbonatés de couleur beige (F5), qui rendent celles-ci très indurées.

Latéralement aux premiers niveaux de AF1, on peut observer localement, notamment près de M'dila, environ 5 m de dépôts silto-argileux présentant des stratifications à angles faibles (F6), à rides de courant (F7) et à litage horizontal (F1) (fig. 8 C) que surmonte une coulée de boue argileuse massive de 0,5 m constituée de petits galets et graviers de quartz (F8). Ce niveau se poursuit par des faciès silto-argileux à angles faibles (F6) et à litage horizontal (F1) dans lesquels s'intercalent des dépôts de gypse (F3) constituant un milieu de type sebkha (fig. 8 C).

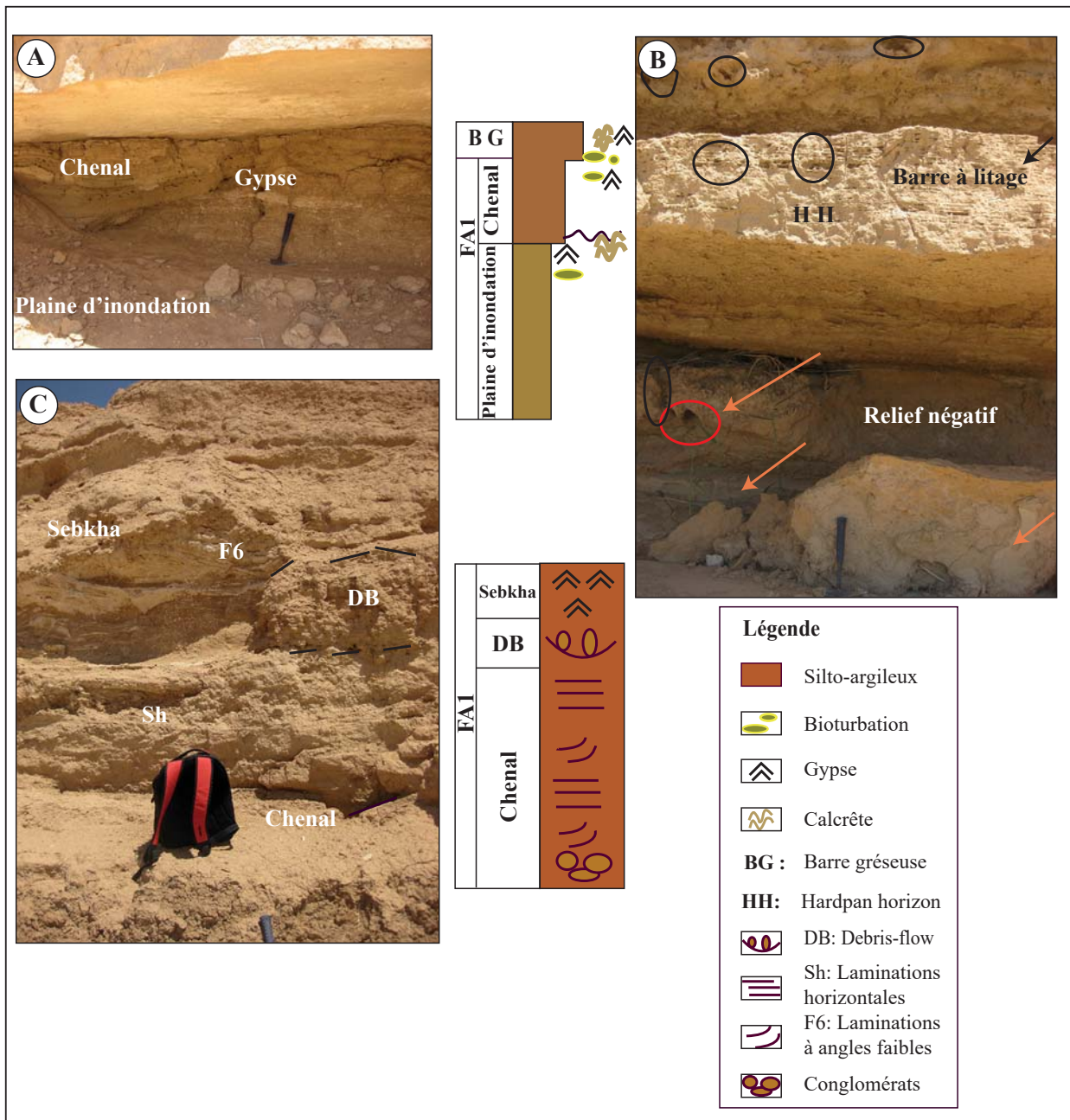


Fig. 8- AF1: Marge laguno-palustre et sebkha.

A) Plaine d'inondation érodée par un chenal. Voir aussi les traces de gypse; **B)** Argiles et argiles silteuses à croûtes carbonatées (flèches oranges) formant un "platy caliche horizon", avec des traces de racines sous forme d'alvéoles (cercles rouges), surmonté par des barres argilo-silteuses à laminations horizontales (flèche noire) à traces de terriers (cercles noirs), formant un "hardpan horizon" (HH); **C)** Chenal à conglomérats et à argiles silteuses à stratifications de faibles angles et à laminations horizontales (F6, Sh), surmontées par des debris flow et sebkha.

AF1: Lagoonal palustrine margin and sebkha.

A) Flood plain eroded by channel. See also traces of gypsum; **B)** Clay and silty-clay with calcretes (orange arrows) making a platy caliche horizon, with alveolar shaped root prints (red cercles), topped by a silty-clay bars bearing horizontal laminations (black arrow) and burrows (black cercles), forming a hardpan horizon (HH); **C)** Channel with conglomerats and silty-clay bearing low angles and horizontal laminations (F6, Sh), overlain by a debris flows and sebkha.

Interprétation

Les faciès fins argileux et silto-argileux gypsifères indiquent une mise en place dans un milieu aquatique de type lagunaire, générant un litage horizontal typique (Miall, 1996 ; Einsele, 2000 ; Nichols, 2009 ; Alçiçek et Gonzalo, 2013). Les premiers dépôts fins qui présentent à la base un relief négatif définissent une plaine d'inondation ravinée par de petits chenaux peu profonds (Miall, 1996). Ils se caractérisent, en outre, par des encroûtements carbonatés de type pédogénétique, que l'on trouve habituellement vers le haut d'un profil de type caliche. On distingue, en effet, l'horizon appelé «*platy caliche*», reconnaissable à sa forme massive et à sa position sub-horizontale dans les niveaux de plaine d'inondation. Au-dessus, vient l'horizon dit «*hardpan*» très induré et laminé, qui enveloppe les barres silto-argileuses (Esteban et Klappa, 1983). Ces dépôts fins contiennent aussi des traces de racines, mises en évidence par leurs formes alvéolaires caractéristiques (Esteban *et al.*, 1983), et des traces de terriers aux formes allongées, auxquelles s'ajoutent de la dessiccation et des cristaux de gypse. Ces éléments constituent autant d'arguments en faveur d'une fluctuation du niveau d'eau, et les exondations probablement fréquentes ont permis la mise en place d'un paléosol à petite végétation et à terriers, mais aussi des évaporations qui ont engendré les précipitations du gypse en milieu confiné. Ces dépôts, vraisemblablement lagunaires, indiquent un climat chaud à semi-aride (Esteban et Klappa, 1983 ; Meyer, 1987).

Latéralement à ces dépôts, existaient des petits chenaux en tresses à bas débit, transportant des sables grossiers et des silts argileux (Miall, 1996 ; Hadlari *et al.*, 2000) pendant que des coulées en flots sont transportées par gravité, et déposées sur les berges. Ces sédiments relativement grossiers constituaient de petits deltas lacustres ou «*lacustrine fan-delta*» (Hook, 1967 ; Miall, 1977, 1996). Ce niveau

se termine par les dernières arrivées fluviales à bas débit (stratifications horizontales à angle faible) que clôtura une sebkha, suite à l'évaporation des eaux près des marges lacustres et/ou à l'évaporation totale du lac, sous climat chaud.

Les exondations sont suivies par l'installation de minces horizons à paléosols à bioturbations documentés par des traces de racines et des *Skolithos* probables.

III.1.2- AF2 : Petits chenaux et barres margino-lacustres

Description

AF2 regroupe les lithofaciès F1, F4, F6 et F7.

Au-dessus des dépôts à sebkha et/ou du niveau à flots de débris de AF1, la succession reprend avec l'arrivée de sables grossiers, de petits graviers et des argiles montrant des stratifications à angles faibles (F6) et des rides de courant (F7), ainsi que de nombreuses bioturbations aux formes alvéolaires (fig. 9 A).

La succession reprend avec des dalles silto-argileuses à faces sommitales convexes ou en convex-up (voir fig. 9A), strato-décroissantes. Celles-ci, dont l'épaisseur varie entre 0,30 et 1,20 m, possèdent un litage très fin et millimétrique (F1), bien visible sur certaines d'entre-elles (fig. 9B). Ces barres qui montrent des bases planes à légèrement ondulées, et des sommets de forme convexe, se caractérisent par l'amincissement et l'inclinaison d'un de leurs côtés en direction SO (voir fig. 9A). Elles contiennent en outre une quantité considérable de petits cristaux de gypse (F4) et des bioturbations sont visibles à leurs surfaces. L'ensemble de l'unité fait 10 m en moyenne.

Interprétation

La seconde association de faciès (AF2) est représentée par une succession de petits chenaux boueux à sables grossiers, dont le transport

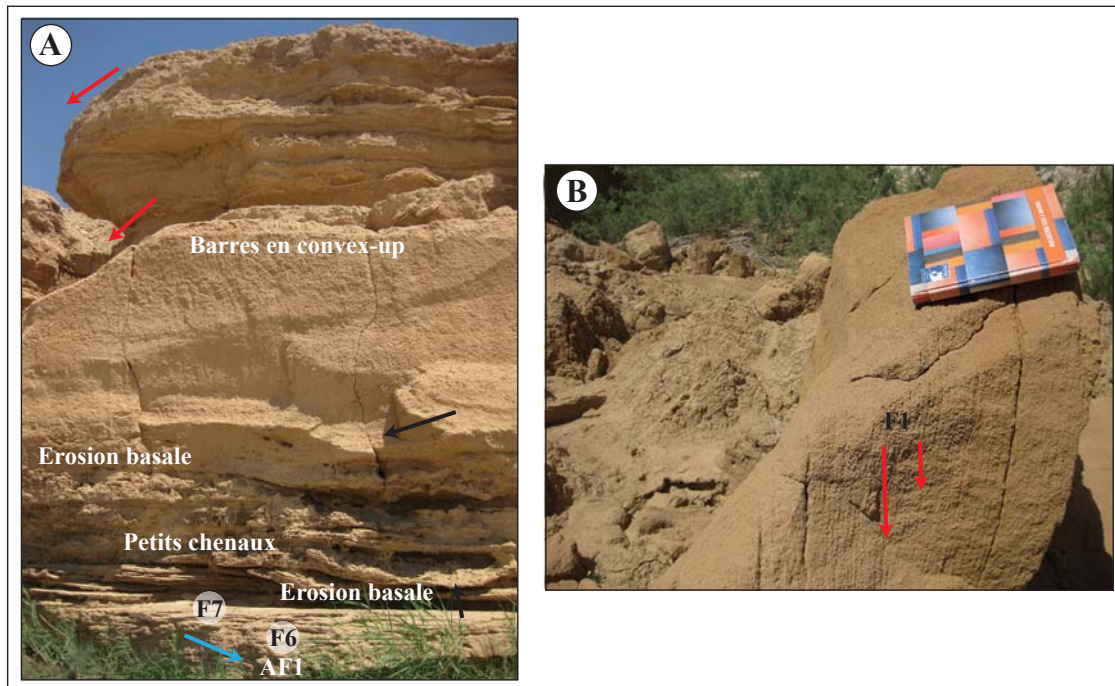


Fig. 9- Formation fluvio-lagunaire, AF 2: marge lagunaire, montrant une alternance de chenaux et de barres fluviales.

A) Petits chenaux fluviaux soulignés par des cicatrices d'érosion à remplissage sablo-argileux à stratifications à angles faibles (F6) et à rides de courant (F7), mis en place au dessus d'un niveau à debris flow (flèche bleue) de AF 1. Voir aussi les barres silto-argileuses en convex-up, montrant un côté incliné (flèches rouges) en direction du SO et une érosion basale (localité de M'dila); **B)** Détail dans une barre silto-argileuse non en place, montrant des laminations horizontales (F1) (flèches).

Fluvio-lagoonal Formation, AF 2: lagoonal margin, showing alternating channels and river bars.

A) Small river channels with basal erosion surface, filled by sandy-clay deposits showing low angle laminations (F6) and current ripples (F7), above a level with debris flow of FA 1 (blue arrow). See also, convex-up silty-clayey bars, showing an inclined side (red arrows) towards the SW and basal erosion (locality of M'dila); **B)** Detail in a silty-clayey bar in place, showing horizontal lamination (F1) (arrows).

s'effectue sous un hydrodynamisme bas (Miall, 1996 ; Hadlari *et al.*, 2000).

Ces dépôts sont soumis à la fluctuation de la nappe, voire à des assèchements périodiques, engendrant la formation du gypse et d'un paléosol à éléments biogéniques, représentés par des végétaux (?) (bioturbations de forme alvéolaire) et des *Skolithos*. Les barres silto-argileuses qui se caractérisent par des surfaces sommitales convexes et qui montrent un litage horizontal, sont spécifiques aux marges lacustres (Fouch et Walker, 1998). En effet, la forme géométrique typique des barres, ainsi que l'amincissement et l'inclinaison d'une des bordures reflètent incontestablement la réduction ou l'amenuisement des apports.

Les évaporations, vraisemblablement fréquentes, engendrent la formation de cristaux de gypse, suivie d'une exondation et de l'installation d'un paléosol en milieu palustre qu'attestent les nombreuses traces de racine.

III.1.3- AF 3 : Cône à flots de débris ou « debris-flow »

Description

AF3, qui regroupe F3, F5 et F8, est une petite séquence d'éléments détritiques grossiers (1,50 m), hétérogènes et hétérométriques (blocs, galets et graviers de quartz et de carbonates) bien arrondis et emballés dans une matrice boueuse silto-argileuse (F8) sans aucun litage

apparent, et montrant des traces de poudre de gypse blanchâtre (F3) et de la dessiccation (F5) (fig. 10 A).

Interprétation

L'association de faciès indique un environnement de cône alluvial, dans lequel le transport des flots de débris s'effectue par écoulement boueux, non chenalisé et de haute énergie, nécessitant une pente relativement escarpée (Hook, 1967 ; Miall, 1977, 1996). L'origine de ces conglomérats est liée à l'activité d'un cône de déjection, et ils sont typiques des zones arides (Miall, 1996 ; Stanistreet *et al.*, 1993). Leur

mise en place s'est effectuée près d'un rivage subaquatique, sous climat chaud et semi-aride, formant ainsi des petits deltas margino-lagunaires. Un tel climat est responsable aussi des précipitations de gypse et de l'apparition des dessiccations dans les sédiments, lors des fluctuations de la nappe et/ou des exondations.

III.1.4- AF4 : Margino-lagunaire-palustre et paléosol à hélicidés

Description

AF4, qui regroupe F1, F2, F3 et F4, se caractérise par une coulée boueuse ou *mud-flow*,

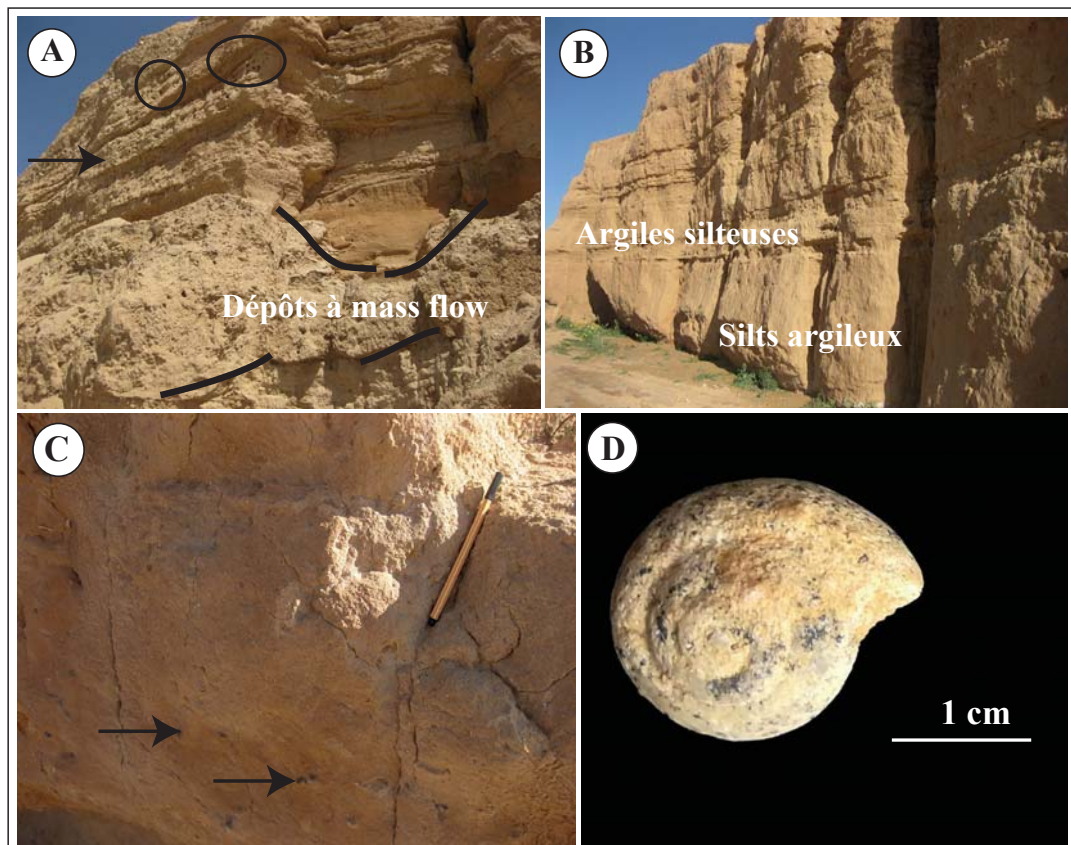


Fig. 10- AF 3 et AF 4: Marge laguno-palustre à gastéropodes (*Helix tissoti*).

A) AF 3: Dépôts à mass flow (voir les niveaux silto-argileux lités (flèche) alternant avec des horizons argileux, montrant des bioturbations (cercles)), (localité de M'dila); **B)** Alternance de niveaux silto-argileux et argilo-silteux (nord de Bir el Aater) ; **C)** Petits gastéropodes *Helix tissoti* au sommet de la formation (flèches); **D)** Détails de l'*Helix tissoti*.

AF3 and AF4: lagoonal-palustrine margin with gastropods (*Helix tissoti*).

AF3: Mass flow deposits (see bedded silty-clayey levels (arrow) alternating with clayey horizons, showing bioturbations (circles)), (locality of M'dila); B) Alternation of silty-clay and clay-silty levels (north of Bir el Aater); C) Small gastropods *Helix tissoti* at the top of the formation (arrow); D) Details of the *Helix tissoti*.

riche en hélicidés fossiles appartenant à la même espèce *Helix tissoti*. Elle est constituée d'une alternance de bancs silto-argileux sans litage (F2) (épaisseur variant entre 0,20 et 1 m) et gypsifères (F3) portant des traces de bioturbations, et de niveaux plus fins, lités et très compactes, de nature argileuse ou argilo-silteuse (F1) (fig. 10A, B). Ces derniers dont l'épaisseur varie entre 0,05 et 0,20 m montrent également des traces de bioturbations, de dessiccation (F4) et de gypse (F3).

Cette unité, qui ne dépasse pas 3 m dans les environs de M'dila, peut atteindre 10 m aux environs de Bir El Aater (fig. 10B). Dans cette dernière localité, les bancs silto-argileux non lités, montrent une strato-décroissance, contrairement aux niveaux argileux qui montrent une strato-croissance. La formation se clôture par un niveau riche en hélicidés terrestres, de type *Helix tissoti* (fig. 10C, D), ainsi que des troncs d'arbres silicifiés. Les niveaux à fossiles ont été observés aussi bien à M'dila que dans les environs de Bir El Aater.

Interprétation

Les bancs silto-argileux sans litage, qui alternent avec les niveaux argileux à litage horizontal, montrent un dépôt dans des eaux à densité périodiquement variable, en rapport avec les changements saisonniers de température. En effet, lors des saisons ou périodes relativement froides, les eaux qui sont naturellement denses ont tendance au brassage. Ceci empêche la stratification des eaux et inhibe l'apparition du litage dans les sédiments silto-argileux (Einsele, 2000 ; Nichols, 2009). Par contre, le litage apparaît et devient de plus en plus persistant dans les niveaux argileux, mettant ainsi en évidence une décantation en l'absence de brassage, dans des eaux à faible densité. En effet, durant les périodes chaudes ou les saisons estivales, les eaux qui sont plus légères, ainsi que l'absence des apports sédimentaires, mènent à la stagnation des lagunes et à la stratification des eaux,

engendrant ainsi le litage dans les sédiments fins.

Les exondations fréquentes sont mises en évidence par l'existence de bioturbations de types terriers et racines végétales. Ce paléosol se met en place après la fin du dépôt de chaque banc et au sommet de la formation. En outre, les émergences sous climat chaud s'accompagnent de précipitation de gypse.

Enfin, l'assèchement des lacs ou des lagunes qui concorde avec la fin de la formation, engendre la constitution d'un paléosol arboré et l'installation d'un biotope à hélicidés, dont l'existence à cette époque va au moins jusqu'au SE de la Tunisie. Ces gastéropodes caractérisent tout le Cénozoïque et n'ont donc pas une grande valeur stratigraphique.

III.2- La Formation sablo-conglomératique de Mermoutia

La Formation sablo-argilo-conglomératique de Mermoutia (fig. 11) affleure en discordance sur la Formation à hélicidés de M'dila (dans la localité de M'dila), ou encore, sur les dépôts conglomératiques de l'Oligocène présumé, à Khenguet Sidi Nadji. Les dépôts sablo-conglomératiques du Quaternaire la recouvrent également en discordance.

Cette formation, qui a été par ailleurs décrite dans les deux localités de Mermoutia et de M'dila, se compose de faciès sablo-argilo-conglomératiques brunâtres, aux couches redressées, montrant une épaisseur pouvant atteindre plus de 1500 m dans certaines localités, comme Mermoutia. Le redressement de cette formation serait lié à l'activité tectonique compressive qui s'est manifestée au passage Pliocène-Quaternaire et dont on retrouve les traces dans tout l'Aurès-Nementcha (Laffitte, 1939, Aissaoui, 1986 ; Guiraud, 1990), ainsi qu'en Tunisie (Mannai-Tayech, 2009).

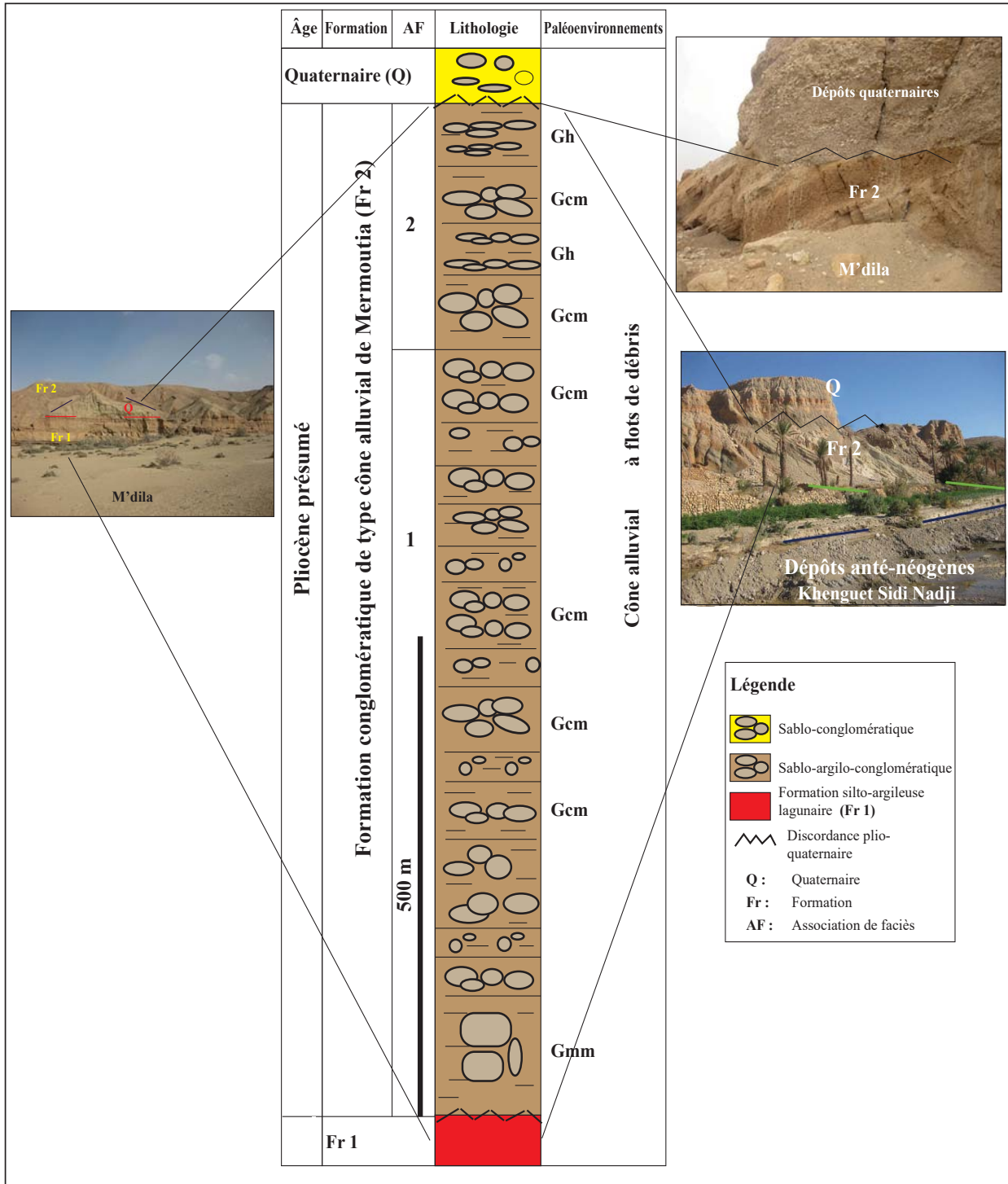


Fig. 11- Log lithostratigraphique de la formation sablo-argilo-conglomératique de Mermoutia.

Lithostratigraphic log of the sandy-clayey conglomerate Formation of Mermoutia.

Les levés de terrain ont été effectués près des localités de M'dila et de Mermoutia. La description des différents lithofaciès n'a pu se faire dans le détail souhaité pour cette puissante formation, et ce, à cause de l'épaisseur importante des dépôts, de la récurrence des

faciès, mais aussi et surtout, pour des raisons d'insécurité.

Les différents lithofaciès qui sont en nombre de quatre (tabl. II) nous ont permis de distinguer une formation avec deux asso-

Tableau II- Formation à débris-flow de Mermoutia: récapitulatif des lithofaciès et de leur interprétation en termes de milieu de dépôt.

Debris-flow Formation of Mermoutia: summary of lithofacies and their interpretation in terms of depositional environment.

Lithologie	Description	Interprétation
F1: Flots de débris à liant sableux à graviers (Gcm)	Succession cyclique de flot massifs de blocs, galets et graviers (<i>clast-supported massive gravels</i> ou Gcm) surmontés de petites dalles gréseuses à graviers.	Écoulement de débris transportés par traction et suspension limitées. L'écoulement est de type turbulent et la concentration en sédiments est réduite (Hook, 1967 ; Stanistreet and Carthy, 1993 ; Miall, 1996).
F2 : Sables grossiers massifs (MS)	Bancs gréseux massifs sans structures (<i>massive sand</i> ou MS)	Transport massif s'effectuant par gravité, le long des pentes.
F3: Flot de débris à litage horizontal (Gh)	Dépôts centimétriques de graviers à litage horizontal grossier	Flots de débris transportés par des chenaux dont l'écoulement est à haut débit (Miall, 1996).
F4: Flot de débris à matrice argilo-silteuse (Gmm)	Débris à matrice silto-argileuse ou argilo-silteuse (<i>matrix-supprted gravels</i> ou Gmm), englobant des blocs de forme angulaire et aux arêtes émoussées, des galets et des graviers	Dépôts de haute énergie transportés en masse et par gravité (Hook, 1967 ; Miall, 1977, 1996).

ciations de faciès assez ressemblantes (fig. 11). Ceci nous a conduit à combiner leur interprétation dans un même paragraphe.

III.2.1- AF1 : Cône alluvial à flots de débris et à liant de sables et graviers

Description

AF1, qui regroupe les lithofaciès F1, F2, F3 et F4, est essentiellement formée de bancs sablo-argileux conglomératiques rougeâtres formant des flots de débris à matrice sableuse à graviers ou «clast-supported massive gravels» (Gcm ; F1) qui sont des débris clastiques imbriqués montrant un litage grossièrement horizontal, alternant avec des niveaux gréseux. Ces derniers se composent essentiellement de sables grossiers massifs (MS; F2) auxquels se mêlent des dépôts centimétriques de graviers lités (Gh; F3). Ces faciès massifs montrent parfois aussi, des cicatrices d'érosion incurvées, fossilisant de petits paléo-chenaux (fig. 12A). Ces différents faciès affichent une cyclicité dont la puissance peut atteindre près de 1000 m dans la région de Mermoutia.

Néanmoins, il existe à certains niveaux, des faciès représentés par des flots de débris à matrice argilo-silteuse, ou massive-supported gravels (Gmm; F4), composés de blocs de forme angulaire et aux arêtes émoussés, de galets et de graviers, noyés dans une matrice argilo-sableuse (fig. 12 A). Ce type de faciès est néanmoins nettement moins représenté par rapport au faciès F1. Tous les éléments qui constituent ces débris clastiques sont issus de carbonates à faune marine du Mésozoïque.

III.2.2- AF2 : Cônes alluviaux à flots de débris et dalles à graviers

Description

AF2, qui regroupe les lithofaciès F1, F3 et F4, épaisse d'environ 500 m, est représentée essentiellement par une succession cyclique de flots de débris massifs surmontés par de petites dalles à graviers (fig. 12B, C). Les débris clastiques qui peuvent montrer une légère imbrication, sont de type F4 ou "matrix-supported gravels" (Gmm). Ce sont des dépôts hétéromé-

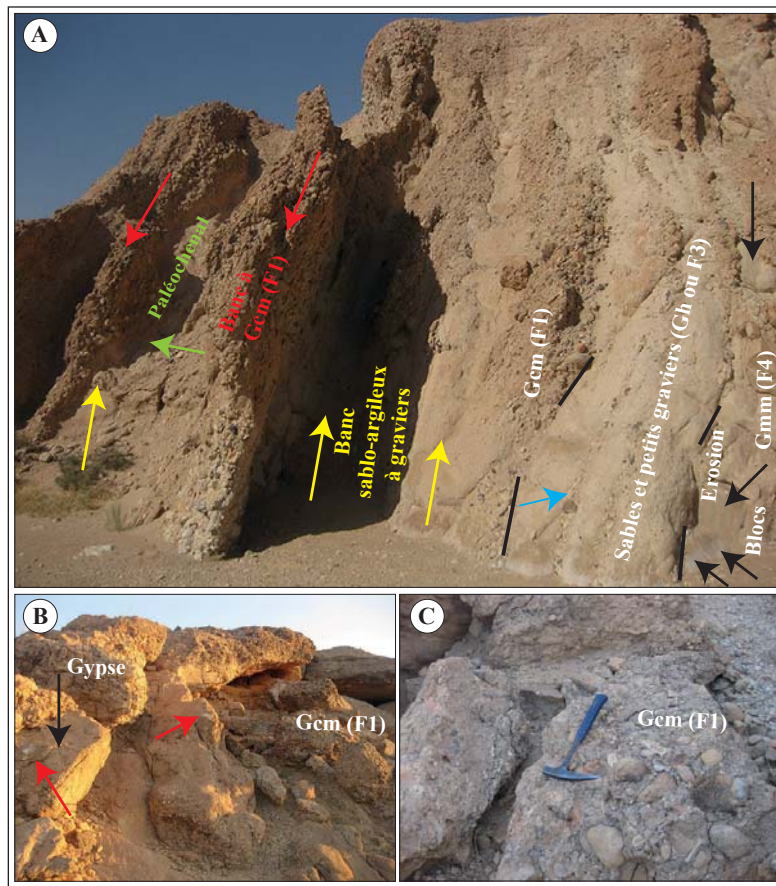


Fig. 12- AF 1 et AF 2: flots de débris de cône alluvial.

A) Af 1: Succession de bancs à flots de débris non chenalisés (Faciès Gcm ou F1) (flèches rouges) alternant avec des bancs gréseux à petits graviers (MS ou F2) (flèches jaunes), qui montrent quelques intercalations de graviers à litage horizontal (Gh ou F3) (flèche bleue). Voir aussi les faciès Gmm (F4) à grands blocs (flèches noires), ainsi que les petits chenaux conglomératiques (flèche verte) qui peuvent s'intercaler entre les faciès non chenalisés (Gcm); **B)** AF 2: Débris-flow de type Gcm (F1), surmontés par des petites dalles à graviers (flèches noires). Voir aussi les traces de gypse (flèches rouges); **C)** Détail des faciès Gcm (échelle donnée par le marteau).

AF 1 and AF 2: Alluvial fan's debris flow.

A) AF 1 : Succession of debris flow beds (Gcm or F1) (red arrows) alternating with gravel sandstone beds (MS or F2) (yellow arrows), which show a few gravel intercalations of horizontal stratifications (Gh or F3) (blue arrow). See also Gmm (or F4) with big boulders (black arrows) and little gravel channels (green arrow) which can be intercalated within the Gcm; **B) AF 2:** Debris flow of Gcm (F1), overlain by small gravel sandstone bars (black arrows). See also gypsum traces (red arrows); **C) Details of Gcm facies (F1)** (Hammer for scale).

triques, représentés par des éléments carbonatés bien roulés, des quartz et de nombreux troncs d'arbres ferruginisés, liés par une matrice argileuse ou argilo-silteuse plutôt réduite.

Ces faciès de type F4 s'intercalent avec des dépôts de type "clast-supported gravels" (Gcm) ou F1. Ces derniers sont généralement constitués d'éléments plus petits essentiellement des graviers et des galets, disposés les uns à

côté des autres et montrant un litage horizontal (fig. 12B).

Les dalles qui leur succèdent (fig. 12B) sont composées de sables argileux ferruginisés, à petits graviers, grossièrement lités (F3). Leur épaisseur d'ordre centimétrique varie entre 0,10 et 0,20 m et leur extension latérale peut atteindre 2 m. On note également la présence de cristaux de gypse dans ces dalles (fig. 11B).

L'ensemble de chaque unité lithologique englobant flot de débris (F1) et petite dalle à graviers (F3) forme une barre à graviers ou *gravel-bar* (GB).

Enfin, des troncs d'arbres *in situ* ont été observés vers le sommet de la formation, dans la région de Mermoutia.

Interprétation

FA1 et FA2 enregistrent un environnement de type cône alluvial. Ils sont représentés majoritairement par des flots de débris non chenalisés et de haute énergie, qui se déplacent par écoulement visqueux le long des pentes (glissement gravitaire) (Hook, 1967 ; Miall, 1977, 1996). Par ailleurs, la présence de quelques chenaux conglomératiques atteste d'un transport par des petites rivières qui caractérisent généralement la partie distale des cônes alluviaux (Stanistreet *et al.*, 1993 ; Blair et Mc Pherson, 1994).

Leur présence majoritaire dans toute la formation, ainsi que la puissance de celle-ci, indiquent le fonctionnement à cette époque de cônes alluviaux (Stanistreet *et al.*, 1993 ; Blair et Mc Pherson, 1994). Les cônes dominés par les flots de débris sont les seuls reconnus comme étant vrais par ces deux derniers auteurs, et ils sont typiques des zones arides.

Aussi, la première association de faciès (AF1) montre une cyclicité entre le dépôt à flots de débris et les bancs gréseux grossiers à petits graviers. Ceci pourrait être lié à l'existence, à cette époque, de pulsations tectoniques (Stanistreet et Mc Carty 1993 ; Blair et Mc Pherson, 1994), qui auraient mobilisé des quantités d'éléments grossiers, suivies par des phases d'accalmie pendant lesquelles se mettraient en place les lithofaciès relativement fins ou moins grossiers.

IV- CONCLUSION

L'étude des dépôts du Miocène supérieur et du Pliocène présumés de la bordure méridionale des Nementcha a montré l'existence

de deux formations détritiques continentales, représentées par la «Formation silto-argileuse à hélicidés de M'dila», attribuée au Tortonien-Messinien, et la «Formation à flots de débris de Mermoutia», attribuée au Pliocène.

Du point de vue environnementale, la première formation est définie par des dépôts de décantation dans des lagunes peu profondes, d'extension régionale, et qui pouvaient recevoir des flots de débris ainsi que du matériel sablo-silteux, charriés par de petits chenaux fluviaux. Ces arrivées détritiques s'accumulaient sur les marges des lagunes, constituant ainsi des petits deltas lagunaires.

Quant à la Formation à flots de débris de Mermoutia, elle est essentiellement composée de dépôts massifs qui se caractérisent d'abord par leur épaisseur importante, pouvant atteindre près de 1500 m dans les environs de la localité de Mermoutia. Ce sont des dépôts grossiers et massifs dont le transport s'effectuait par glissement gravitaire le long des cônes alluviaux, sous climat aride et chaud. Leur existence serait liée à l'activité sismique qui a précédé au soulèvement de cette formation à la limite Pliocène-Quaternaire.

BIBLIOGRAPHIE

- AISSAOUI, D., 1986.** Les structures liées à l'Accident Sud-Atlasique entre Biskra et le Djebel Manndra, Algérie. Evolution géométrique et cinématique. *Publications de l'Office National de la Géologie*, Nouvelle série, n° 51, 105 p.
- ALCICEK, H. AND GONZALO, J.-M. 2013.** Late Miocene to Plio-Pleistocene fluvio-lacustrine system in the Karacasu Basin (SW Anatolia, Turkey): Depositional, paleogeographic and paleoclimatic implications. *Sedimentary of Geology*, vol. 291, pp. 62-83.

- ASHLEY, G.-M. 1990.** Classification of large-scale subaqueous bedforms. A new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Petrology*, 60, pp. 160-172.
- BIELY, A., RAKU, M., ROBINSON, P. ET SALAJ, J. 1972.** Essai de corrélations des formations miocènes au sud de la dorsale tunisienne. *Notes du Service Géologique*, n° 38, pp. 73-92.
- BLAIR, T. AND MC PHERSON, G. 1994.** Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes and facies. *Journal of Sedimentary Research*, vol. 64. n° 3, pp. 450-489.
- BURROLLET, P.-F. 1956.** Contribution à l'étude stratigraphique de la Tunisie centrale. *Annales des Mines et de la Géologie*, vol. 18, 350 p.
- CANT, D.-J. AND WALKER, R.-G. 1976.** Development of a braided-fluvial facies model for the Devonian Battery Point Sandstone, Quebec. *Canadian Journal Earth Science*, 13, pp. 102-119.
- COIFFAIT, P.-E., COIFFAIT, B., JAEGER, J.-J. ET MAHBOUBI, M., 1984.** Un nouveau gisement à mammifères fossiles d'âge éocène supérieur sur le versant sud des Nementchas (Algérie orientale): découverte des plus anciens rongeurs d'Afrique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 299 (2), pp. 893-898.
- DUCROCQ, S., COIFFAIT, B., COIFFAIT, P.-E., MAHBOUBI, M., AND JAEGER, J.-J. 2001.** The Miocene Anthracotheriidae (Artiodactyla, Mammalia) from the Nementcha, eastern Algeria. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte* 3, pp. 145-156.
- EINSELE, G. 2000.** Sedimentary geology. Evolution, facies, and sediment budget. 2nd edition. *Publisher Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg xi+792 p.
- ESTEBAN, M. AND KLAPPA, C.-F. 1983.** Subaerial exposure environments. In Scholle *et al.* (editors), carbonate depositional environments. *Memoir of American Association of Petroleum Geology*, 33, pp. 1-54.
- FOUCH, D. AND WALTER, E.-D. 1998.** Lacustrine and associated clastic depositional environments, in *Sandstone depositional environments*. Ed. by Scholle, A. and Spearing, 35 D. published by *Memoir of American Association of Petroleum Geology of Tulsa*, vol. 31, Oklahoma.
- GOUSKOV, N. ET LAFFITTE, R. 1951.** Carte géologique de Constantine Sud à 1/500 000. *Service de la Carte Géologique de l'Algérie*.
- GUIRAUD, R. 1990.** Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie: d'après l'étude du Bassin du Hodna et des régions voisines. *Office National de la Géologie*, 1 vol., 259 p.
- HADLARI, T. AND RAINBIRD, R.-H. 2000.** The Paleoproterozoic Baker Lake group in the Baker. Sequence stratigraphy and lake Basin, thirty-mile lake, Nunavut. *Geological Survey of Canada, Current Research (Online)* no. 2000-C9, 10 p.
- HOOKE, R.-L. 1967.** Processes on arid regions alluvial fan. *Journal of Geology*, v.75, n°4, pp. 438- 460.
- LAFFITTE, R. 1939.** Etude géologique de l'Aurès. *Thèse de Doctorat, Université de Paris*, 484 p.
- LIHOREAU, F., HAUTIER, L. AND MAHBOUBI, M. 2014.** The new Algerian locality of Bir el Ater 3: validity of *Libycosaurus algeriensis*

- (Mammalia Hippopotamoidea) and the age of the Nementcha formation. *Palaeovertebrata*, vol. 39 (2).
- MANNAI-TAYECH, B. 2009.** The lithostratigraphy of Miocene series from Tunisia, revisited. *Journal of African Earth Sciences*, 54, pp. 53-61.
- MAZROU, S. 2016.** Les formations post-atlantes de la bordure sud des Nementcha. Sédimentologie et analyse paléoenvironnementale. *Les 3^{èmes} journées sur la Géologie algérienne*, 13 au 14 avril 2016, Oran.
- MAZROU, S. 2021.** Tidally dominated Miocene deltaic deposits and pipe rocks in the Tébessa Basin, eastern Algeria: sedimentological and ichnological characteristics. *Geologos*, 27, 1, pp. 15-34.
- MEYER, R. 1987.** Paléolites et paléosols. L'empreinte du continent dans les séries sédimentaires. *Bureau de Recherche Géologiques et Minières, Manuels et méthodes*, 160 p.
- MIALL, A.-D. 1977.** Review of the braided-river depositional environment. *Earth Science Reviews*, 13, pp. 1- 62.
- MIALL, A.-D. 1978.** Lithofacies types and vertical profile models in braided fluvial. In Miall, A.-D. (ed.) fluvial sedimentology. *Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5*, pp. 597-604.
- MIALL, A.-D. 1990.** Principles of sedimentary basins analysis, 2nd ed. Springer, Berlin Heidelberg New York, 38 p.
- MIALL, A.-D. 1996.** The geology of fluvial deposits. Sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. Edit. Springer. xvi+ 582 pp.
- NICHOLS, G. 2009.** Sedimentology and stratigraphy, Second edition, Wiley-Blackwell, 432 p.
- READING, H.-R., 2001.** Clastic facies models, a personal perspective. *Bulletin of Geological Society of Denmark*, vol. 48, pp. 101-115.
- STANISTREET, I.-G., AND MCCARTHY, T.-S. 1993.** The Okavango fan and the classification of subaerial fan systems. *Sedimentary Geology*, vol. 85, issues 1-4, pp. 115-133.
- TABUCE, R., COIFFAIT, B., COIFFAIT, P.-E., MAHBOUBI, M. AND JAEGER, J.-J. 2000.** A new species of *Bunohyrax* (Hyracoidea, Mammalia) from the Eocene of Bir El Ater Algeria. *Comptes Rendus de l'Académie de Paris des Sciences de la Terre et des Planètes*, 331, pp. 61-66.
- VATTAN, A. 1967.** Manuel de sédimentologie. *Technip. Edit. Paris*. 424 p. ISBN:2710810468 9782710810469
- VISSE, L. 1952.** Genèse des gîtes phosphatés du sud-est algéro-tunisien. *XIX^{ème} Congrès Géologique International*, Monographie régionale, 1^{ère} série, Algérie, n° 27.
- WALKER, R.-G. AND JAMES, N.-P. 1992.** Facies models: response to sea level change. *Geological Association of Canada, Geotext 1*, 407 p.